



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 02 412 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 R 29/00
H 04 B 1/06
H 04 L 27/00
H 04 L 27/22

⑳ Aktenzeichen: P 41 02 412.5
㉑ Anmeldetag: 28. 1. 91
㉒ Offenlegungstag: 30. 7. 92

DE 4102412 A1

㉑ Anmelder:
TELEFUNKEN SYSTEMTECHNIK GMBH, 7900 Ulm,
DE

㉒ Erfinder:
Feyh, German, Dr., 7910 Reutti, DE; Kückenwaitz,
Martin, 7340 Geislingen, DE

⑤4 Verfahren zur Modulationsartenerkennung und Anordnung zum Ausführen des Verfahrens

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Modulationsarten-
erkennung, bei welchem ein nach einer bestimmten, anfangs
noch unbekannten Modulationsart moduliertes komplexes
Basisbandsignal x in mehrere voneinander unabhängige
Zwischensignale transformiert wird, welche Zwischensignale
die Grundlage für die Bestimmung der Modulationsart in
einer Auswerteschaltung bilden. Bei dem Verfahren werden
die einzelnen Zwischensignale und/oder das komplexe Ba-
sisbandsignal x selbst jeweils einer Parameterschätzung
mindestens eines autoregressiven Modells unterworfen. Aus
den geschätzten Parametern und/oder aus von diesen
Parametern abgeleiteten Prädiktionsfehlern $\tilde{\alpha}$ wird durch
Vergleich mindestens einiger dieser Parameter oder Prädik-
tionsfehler $\tilde{\alpha}$ untereinander und/oder mit vorgegebenen
Schwellenwerten die Modulationsart bestimmt.

DE 4102412 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Modulationsartenerkennung gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Anordnung zum Ausführen des Verfahrens. Ein solches Verfahren ist bereits aus der DE 34 03 187 A1 bekannt.

Zur Übertragung werden Nachrichten entsprechend einer Modulationsart umgeformt. Um zu erkennen, daß Nachrichten gemäß einer bestimmten Modulationsart gesendet werden oder um Nachrichten ihrer Modulationsart entsprechend richtig zu demodulieren, ist es notwendig, die Modulationsart von Signalen zu erkennen.

Die Modulationsartenerkennung von z. B. digitalen Nachrichtensignalen baut zumeist auf einer versuchten Demodulation auf. Gelingt der Versuch der Demodulation, so wird auf die Demodulationsart erkannt, ansonsten das Signal als nicht klassifizierbar zurückgewiesen.

Bei dem aus der DE 34 03 187 A1 bekannten Verfahren wird ein nach einer bestimmten, anfangs noch unbekannten Modulationsart modulierte komplexes Basisbandsignal x in mehrere voneinander unabhängige Zwischensignale transformiert, und zwar wird eine nichtlineare Transformation des Real- und Imaginärteils des komplexen Basisbandsignals x durchgeführt, um den Betrag und die Phase des Signals berechnen zu können. Die so gewonnenen Zwischensignale bilden die Grundlage für die Bestimmung der Modulationsart in einer nachgeschalteten Auswerteschaltung.

Die Berechnung des Betrags und der Phase aus dem komplexen Basisbandsignal x ist in der Regel sehr rechenintensiv. Es existieren nur interaktive Algorithmen. Diese besitzen entweder lineare Konvergenz (wie z. B. der für den in dem Artikel von T. C. Chen: "Automatic Computation of Exponentials, Logarithms, Ratios and Square Roots", in "IBM J. Res. Develop.", Vol. 16, No. 4, July 1972, S. 380 bis 388 beschriebenen COordinate-ROtation-Digital-Computer (CORDIC) verwendete Algorithmus) und benötigen deshalb mindestens ebensoviele Rechenschritte wie die Genauigkeit des Ergebnisses sein soll oder quadratische Konvergenz mit der Unterstützung von Tabellen, die abgelegt werden müssen.

Außerdem verstärkt die nichtlineare Transformation von Real- und Imaginärteil des komplexen Basisbandsignals x in Betrag und Phase das Rauschen. Schwankt die Amplitude des Nutzsignals, so wird bei kleinen Amplitudenwerten das Rauschen im Gesamtsignal überwiegen und entsprechend die Phase bestimmen. In der Phasenauswertung werden dann vollkommen falsche Phasen mit Phasen hoher Güte gleich gewichtet. So kommt es bei niedrigem Signal-zu-Rausch-Verhältnissen SNR eher zu falschen Ergebnissen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das mit einer möglichst einfachen Anordnung durchgeführt werden kann und möglichst hohe Zuverlässigkeit bei der Modulationsartenerkennung aufweist.

Die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe ist im Patentanspruch 1 beschrieben. In den weiteren Ansprüchen sind vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie eine bevorzugte Anordnung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens und deren vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen beschrieben.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, daß die einzelnen Zwischensignale und/oder das komplexe Basisbandsignal x selbst jeweils einer Parameterschätzung mindestens eines autoregressiven Modells unterworfen werden und daß aus den geschätzten Parametern und/oder aus von diesen Parametern abgeleiteten Prädiktionsfehlern $\hat{\alpha}$ durch Vergleich mindestens einiger dieser Parameter oder Prädiktionsfehler $\hat{\alpha}$ untereinander und/oder mit vorgegebenen Schwellenwerten die Modulationsart bestimmt wird. (Autoregressive Modelle an sich sind beispielsweise aus der digitalen Spektralanalyse bereits bekannt (vgl. z. B. Kap. 7 in dem Lehrbuch "Digital Spectral Analysis" von S. L. Marple Jr., Seiten 189 bis 203 (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987)).

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die jeweils vorliegende Modulationsart relativ einfach und schnell sowie mit einem relativ hohen Maß an Zuverlässigkeit bestimmt werden kann.

Das Verfahren kann zur Bestimmung beliebiger Modulationsarten eingesetzt werden, insbesondere zur Bestimmung von analogen oder digitalen Modulationsarten.

In einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die einzelnen Zwischensignale zweckmäßigerweise jeweils durch eine lineare oder nichtlineare Transformation aus dem komplexen Basisbandsignal x erzeugt, wobei vorzugsweise die Mehrzahl der Transformationen nichtlineare Transformationen von vorzugsweise niedriger Ordnung, vorzugsweise von erster, zweiter, dritter oder vierter Ordnung sind.

Die einzelnen Transformationen können zeitlich hintereinander und/oder vorzugsweise zeitlich parallel durchgeführt werden.

Für die einzelnen Zwischensignale und/oder das komplexe Basisbandsignal x selbst werden vorteilhafterweise autoregressive Modelle unterschiedlicher Ordnung, vorzugsweise niedriger Ordnung, vorzugsweise erster, zweiter oder dritter Ordnung verwendet, die an die speziellen Signale (Zwischen- oder Basisbandsignale) angepaßt worden sind.

Vorzugsweise arbeiten die verwendeten autoregressiven Modelle auf der Basis von Levinson- oder Schur-Algorithmen (der Levinson-Algorithmus ist beispielsweise in Kap. 7 des o. a. Lehrbuchs von S. L. Marple Jr. beschrieben, der Schur-Algorithmus z. B. in "Journal für reine und angewandte Mathematik", Vol. 147 (1917) Seiten 205 bis 232), zweckmäßigerweise werden zur schnelleren Berechnung die Prädiktionsfehler $\hat{\alpha}$ auf Werte $0 \leq \hat{\alpha} \leq 1$ normiert.

Zur Erkennung von digitalen Modulationsarten und/oder von harmonischen Signalen wird in einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens das komplexe Basisbandsignal x direkt der Parameterschätzung eines autoregressiven Modells erster Ordnung und/oder zweiter Ordnung unterworfen und/oder zunächst in die Zwischensignale x^2 und/oder x^4 und/oder $|x|^2$ und/oder $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ und/oder

$(|x|^2 - m_{|x|^2})^2$ transformiert. Diese Zwischensignale werden dann jeweils einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells dritter Ordnung unterworfen.

Vorzugsweise werden dann die aus den einzelnen Parameterschätzungen abgeleiteten und vorzugsweise normierten Prädiktionsfehler $\alpha_{d1}, \alpha_{d2}, \alpha_s, \alpha_f, \alpha_c, \alpha_m, \alpha_t$ in der Auswerteschaltung zumindest zum Teil untereinander jeweils paarweise ins Verhältnis gesetzt und diese einzelnen Verhältnisse

$$\alpha_y/\alpha_z (y, z \in \{d1, d2, s, f, c, m, t\}; y \neq z)$$

mit vorgegebenen Schwellenwerten S_{yz} einzeln verglichen, wobei durch Vielfachvergleich der sich aus diesen Einzelvergleichen ergebenden Differenzen $[(\alpha_y/\alpha_z) - S_{yz}]$ die vorliegende Modulationsart bestimmt wird.

Im folgenden sei die Erfindung beispielhaft anhand der Erkennung bzw. Bestimmung von digitalen Modulationsarten anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 das Blockschaltbild einer Demodulationseinrichtung mit einem Modulationsartenerkennung,

Fig. 2 das Blockschaltbild der Demodulationseinrichtung gemäß Fig. 1 für PSK2 oder PSK4 mit einer zusätzlichen Einrichtung zur Trägerrückgewinnung und Baudratenabschätzung,

Fig. 3 eine tabellarische Übersicht über die Determiniertheit (D) oder Nichtdeterminiertheit (N) für verschiedene digitale Modulationsarten und für verschiedene Nichtlinearitäten,

Fig. 4 eine tabellarische Übersicht über eine vorteilhafte Auswahl von zueinander ins Verhältnis zu setzenden Prädiktionsfehlerpaaren zur Bestimmung der Modulationsart bei digitalen Modulationsarten,

Fig. 5–6 vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Demodulationseinrichtung in Fig. 1 umfaßt einen Demodulator DM, der das (z. B. digital) modulierte komplexe Basisbandsignal x demodulieren soll und an seinem Ausgang das demodulierte Nachrichtensignal D (z. B. ein digitales Datensignal) ausgeben soll.

Parallel ist das zu demodulierende Signal x einem Modulationsartenerkennung ME zugeführt, der das Signal x analysiert und die vorliegende (z. B. digitale) Modulationsart, mit der das Signal x moduliert ist, bestimmt und der ein der erkannten Modulationsart entsprechendes Steuersignal S an den Demodulator DM gibt, welcher daraufhin entsprechend der erkannten Modulationsart das Signal x demoduliert und an seinem Ausgang das demodulierte Nachrichtensignal D ausgibt.

Eingesetzt werden solche Demodulationseinrichtungen beispielsweise in Überwachungsanlagen für HF-Empfänger.

Die Demodulationseinrichtung in Fig. 2 ist für die digitalen Modulationsarten PSK2 und PSK4 (PSK = Phase-Shift-Keying) vorgesehen und unterscheidet sich von der Demodulationseinrichtung in Fig. 1 lediglich dadurch, daß zusätzlich noch eine Einrichtung zur Trägerrückgewinnung TR bzw. zur Baudratenabschätzung BA vorgesehen ist, die ein zusätzliches, die Trägerfrequenz und -phase, Baudrate und -phase betreffendes Steuersignal S' an den Demodulator DM gibt.

Der Modulationsartenerkennung ME in Fig. 1 hat die Aufgabe, den einzelnen Signalen Klassen von Modulationsarten zuzuordnen und eine Rangordnung der zu bearbeitenden Signale zu erstellen.

Es werden z. B. die folgenden Klassen von Modulationsarten unterschieden:

- a) PSK (Phase-Shift-Keying) + Rauschen ("PSK2" bzw. "PSK4")
- b) ASK (Amplitude-Shift-Keying) + Rauschen ("ASK2")
- c) FSK (Frequency-Shift-Keying), einschließlich MSK (Minimum-Shift-Keying) + Rauschen ("FSK2", "MSK2")
- d) Harmonisches Signal (Summe sinusförmiger Signale) + Rauschen ("Sinus")
- e) Rauschen ("Noise").

Sprachsignale (Radio) sind nicht erfaßt. Hier können sich Rauschen und Harmonisches Signal in etwa 15 ms gegeneinander abwechseln. Insbesondere spiegelte in der Vergangenheit eine feste Frequenzrasterung und intonierte Sprache dem Modulationsartenerkennung die Klasse ASK vor. Durch vorhergehende Segmentierung können jedoch zusammengehörende Signale zusammengefaßt und so ein "Wandern" der Sprachsignale durch das Kanalraster verhindert werden.

Führt man digitale Modulationsarten über unterschiedliche Nichtlinearitäten, so werden abhängig von der Modulationsart die Daten in der Nachricht zerstört oder auch nicht.

Nimmt man die Daten als zufällig an, so können sie nicht vorhergesagt werden. Einmal zerstört, ist eine Vorhersage möglich und das Signal verhält sich eher deterministisch. Entfernt man den deterministischen Anteil des Signals, so liegt meist nur noch ein unvorhersagbares Signal vor. Prüft man den Grad der Vorhersagbarkeit mittels des normierten Prädiktionsfehlers eines autoregressiven Modells nach, so kann aus der Vorhersagbarkeit vor und nach verschiedenen Nichtlinearitäten auf bestimmte Modulationsarten geschlossen werden.

Die bei autoregressiven Modellen verwendete Methode der linearen Prädiktion basiert auf der Autokorrelationsfunktion r_k des Signals x_k und besteht aus der Lösung des Gleichungssystems

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1^* & r_2^* & \dots & r_n^* \\ r_1 & r_0 & r_1^* & \dots & r_{n-1}^* \\ r_2 & r_1 & r_0 & \dots & r_{n-2}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_n & r_{n-1} & r_{n-2} & \dots & r_0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\alpha} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \bar{\alpha} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1a)$$

oder kurz

$$R \cdot \underline{a} = \bar{\alpha} \cdot \underline{e}_0 \quad (1b)$$

wobei r_n der Autokorrelationskoeffizient n-ter Ordnung ist, r_n^* der entsprechende hierzu konjugiert komplexe Koeffizient ist, $a_1 - a_n$ die Koeffizienten des verwendeten autoregressiven Modells sind und α der Prädiktionsfehler (ein Skalar) ist. R ist eine (hermitesche) Töplitzmatrix der Autokorrelationskoeffizienten r_i, r_i^* ($i=0, 1, \dots, n$), \underline{a} der Vektor der Koeffizienten $1, a_1, \dots, a_n$ des verwendeten autoregressiven Modells und \underline{e}_0 der nullte Basisvektor. Der normierte Prädiktionsfehler ist

$$\alpha = \bar{\alpha} / r_0 \quad (2)$$

Ein deterministisches Signal hat den normierten Prädiktionsfehler $\alpha = 0$, weißes Gaußsches Rauschen den Prädiktionsfehler $\alpha = 1$.

Für verschiedene Nichtlinearitäten und digitale Modulationsarten läßt sich die in Fig. 3 wiedergebende Tabelle für die Determiniertheit (D) ($\alpha = 0$) oder Nichtvorhersagbarkeit (N) ($\alpha = 1$) ableiten.

In der Tabelle steht x01 für einen linearen Prädiktor erster Ordnung (also keine Nichtlinearität) und x02 für einen linearen Prädiktor zweiter Ordnung (ebenfalls keine Nichtlinearität), während $x^2, x^4, (|x|^2 - m_{|x|^2})$, $(|x|^2 - m_{|x|^2})^2$ Nichtlinearitäten darstellen bezüglich des zu transformierenden Signals x , wobei $m_{|x|^2}$ der arithmetische Mittelwert von $|x|^2$ ist und $|x|^2$ das Betragsquadrat von x .

Die linearen Prädiktoren x01 und x02 werden eingeführt, um MSK2 von FSK2 unterscheiden zu können, da FSK2 im Frequenzspektrum zwei spektrale Häufungspunkte hat, während MSK2 nur einen spektralen Häufungspunkt besitzt. Ein Prädiktor erster Ordnung kann die zwei spektralen Häufungspunkte der FSK2 nicht nachbilden, ein Prädiktor zweiter Ordnung kann dies jedoch. Deshalb ist bei FSK2 bei dem Übergang von Prädiktor erster auf einen Prädiktor zweiter Ordnung ein für FSK2 charakteristischer Anstieg der Vorhersagbarkeit gegeben.

Die restlichen linearen Prädiktoren für die durch die nichtlinearen Transformationen gewonnenen Zwischensignale sind vorteilhafterweise dritter Ordnung.

Die Klassifikation der digitalen Modulationsarten geschieht durch Schwellenvergleich. Man bildet den Quotienten zweier normierter Prädiktionsfehler α , bei denen sich die Verhältnisse von Determiniertheit D und Nichtdeterminiertheit N möglichst umkehren oder zumindest in einem der beiden Meßwerte verschieden sind. Die in Fig. 4 gezeigte Tabelle gibt den Überblick über eine bevorzugte Auswahl von Schwellenwertvergleichen, mit denen die jeweils vorliegende Modulationsart mit einem besonders hohen Grad an Wahrscheinlichkeit richtig bestimmt werden kann.

Hierbei ist, wenn der Zahlenwert an dem Kreuzungspunkt zweier Modulationsarten größer als eine Schwelle ist, die Modulationsart der Spalte, falls kleiner als die Schwelle, die Modulationsart der Zeile zu nehmen.

Dies ist eine heuristische Verknüpfung der Kennwerte. Selbstverständlich ist es auch möglich die Auswertung der Kennwerte einem Musterkennungsverfahren zu überlassen, wie z. B. den linearen und quadratischen Polynomklassifikatoren (vgl. z. B.: J. Schürmann: "Polynomklassifikatoren für die Zeichenerkennung — Ansatz, Adaption, Anwendungen" (R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1977, Seiten 174 bis 177)) oder den neuronalen Netzen (R. P. Lippmann: "Pattern Classification Using Neural Networks", in IEEE Communications Magazine, November 1989, Seiten 47 bis 64).

Eine $n \cdot n$ Matrix A zur Verknüpfung der α -Werte zu Entscheidungsfunktionen kann z. B. aufgrund einer statistischen Auswertung gewonnen werden und besteht aus einer Anzahl von positiven und/oder negativen Zahlenwerten A_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$), hier beispielhaft für $n = 7$:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} \alpha_{d1} & \alpha_{d2} & \alpha_s & \alpha_f & \alpha_c & \alpha_m & \alpha_t \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{SINUS} \\ \text{ASK2} \\ \text{FSK2} \\ \text{MSK2} \\ \text{PSK2} \\ \text{PSK4} \\ \text{NOISE} \end{matrix} & \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} & A_{17} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{27} \\ A_{31} & A_{32} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{37} \\ A_{41} & A_{42} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{47} \\ A_{51} & A_{52} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{57} \\ A_{61} & A_{62} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{67} \\ A_{71} & A_{72} & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{77} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Zur Klassifikation der Modulationsart bildet man den Vektor

$$\underline{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_{d1} \\ \alpha_{d2} \\ \alpha_s \\ \alpha_f \\ \alpha_c \\ \alpha_m \\ \alpha_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

5

10

multipliziert die obige Matrix A und den Vektor $\underline{\alpha}$ und erhält den Klassifikationsvektor \underline{k}

15

$$\underline{k} = A \underline{\alpha} \quad (5)$$

Der größte Eintrag des Klassifikationsvektors \underline{k} indiziert die Modulationsart. In dem Beispiel entsprechen die Einträge der Reihe nach:

20

1. Träger (Sinus),
2. Amplitude-Shift-Keying (ASK2),
3. Frequency-Shift-Keying (FSK2),
4. Minimum-Shift-Keying (MSK2),
5. Binary-Phase-Shift-Keying (PSK2),
6. Quaternary-Phase-Shift-Keying (PSK4),
7. Rauschen (NOISE).

25

Die erfindungsgemäße Modulationsartenerkennung zerfällt in dieser besonderen Ausführungsform somit in zwei bzw. drei Teile: a) Merkmalsbestimmung, b) Auswahl der zu einer Klasse gehörigen Signale und gegebenenfalls c) Rangordnungsbestimmung innerhalb der gewünschten Klasse.

30

Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sei im folgenden näher erläutert.

Die Modulationsarten werden auf Grund einiger weniger Kenngrößen, die im wesentlichen dem Leistungsdichtespektrum (Spektrum 2. Ordnung) und dem Spektrum 4. und 8. Ordnung entsprechen, erkannt. Für die betrachteten Modulationsarten sind Spektren ungerader Ordnung im Erwartungswert Null.

35

Das Spektrum 4. Ordnung gibt Aufschluß wie das Signal vom Gaußschen Rauschen verschieden ist.

Die Leistungsdichtespektren werden mittels autoregressiver Modelle angenähert. Dies hat den Vorteil, daß wenige Parameter zur Beschreibung komplexer Leistungsdichtespektren ausreichen. Dieser Umstand kann zum Beispiel auch in der Sprachcodierung mit niedriger Bitrate genutzt werden.

Die entscheidende Frage ist stets, welcher Prozentsatz der im Signal befindlichen Energie sich durch ein autoregressives Modell niedriger Ordnung erklären läßt.

40

Der Algorithmus besteht aus der Berechnung der Korrelationswerte bis zu der angegebenen, niedrigen Ordnung für einen Datenblock. Der weiter oben bereits erwähnte Levinson Algorithmus beispielsweise wird einmal pro Block zur Bestimmung der durch das autoregressive Modell nicht vorhersagbaren Energie berechnet. Er liefert einen vorzugsweise normierten Prädiktionsfehler α .

45

Ein Beispiel deterministischer Signale ist der Sinus, der sich als reelles Signal durch ein reelles autoregressives Modell zweiter Ordnung vollkommen vorhersagen läßt. Der Prädiktionsfehler α wird hier 0. Im komplexen Fall wird für eine Sinusschwingung sogar nur die erste Ordnung zur vollständigen Prädiktion gebraucht.

Das Beispiel eines stochastischen Signals ist das breitbandige Gaußsche Rauschen, dessen Energie sich durch ein autoregressives Modell nicht erklären läßt. Hier ergibt sich der Prädiktionsfehler $\alpha = 1$.

50

Ein wesentliches Merkmal der Erfindung zur Konstruktion der Merkmale besteht darin, daß das komplexe Basisbandsignal $x(k)$ Daten transportiert und deshalb nicht vollständig voraussagbar ist, da sonst kein Interesse an der Kommunikation zwischen Sender und Empfänger bestünde (k entspricht den jeweiligen Abtastzeitpunkten t_k). Wird das Signal $x(k)$ nun einer Transformation T unterworfen, die die Datenabhängigkeit des Signals auslöscht, sollte das Signal besser vorhersagbar sein. Für die verschiedenen Modulationsarten lassen sich unterschiedliche Transformationen (Nichtlinearitäten) finden, bei denen die Daten optimal ausgelöscht werden. Man untersucht dann das Verhältnis der Kenngröße α vor und nach der Transformation T

55

$$\alpha(T(x(k)))/\alpha(k) < \text{Schwelle.}$$

60

Dieses Verhältnis wird gegen eine Schwelle entschieden.

Es wird beispielsweise von den folgenden Merkmalen ausgegangen:

- a) Es wird ein reelles autoregressives Modell dritter Ordnung für das mittelwertfreie Betragsquadrat des komplexen Basisbandsignals x (Prädiktionsfehler α_m) angewendet. Durch die Betragsbildung werden bei PSK die Daten des Signals zerstört. Bei ASK bleibt die Datenabhängigkeit bestehen.
- b) Es wird ein komplexes autoregressives Modell erster Ordnung auf das komplexe Basisbandsignal x angewendet. Eine hohe Vorhersagbarkeit deutet auf einen Träger oder eine langsame Datensendung mit

65

gutem SNR hin. Dieser Prädiktionsfehler wird mit α_{d1} bezeichnet. Bei einem Sinus und $\text{SNR} \gg 1$ ergibt sich der Prädiktionsfehler der nicht erklärten Energie zu $2/\text{SNR}$.

c) Es wird ein komplexes autoregressives Modell dritter Ordnung für das komplexe Signalquadrat (Kennwert α_s) angewendet. Bei PSK2 werden die Daten durch die Quadrierung zerstört, bei PSK4 geschieht dies nicht, bei FSK/MSK nur in außerordentlichen Fällen.

d) Es wird ein komplexes autoregressives Modell dritter Ordnung für die vierte Potenz des komplexen Signals (Prädiktionsfehler α_f) angewendet. Bei PSK4 werden nun alle Daten durch diese Nichtlinearität zerstört.

Die Klassifikationsmerkmale können aus den oben genannten Merkmalen z. B. folgendermaßen gebildet werden:

e) Ist das Betragsquadrat des Signals nicht vorhersagbar,

$\alpha_m \geq \text{Schwelle}$,

wird auf Rauschen oder kontinuierliche Modulationsarten geschlossen.

f) Ist das Verhältnis des Prädiktionsfehlers des Betragsquadrats des Signals zum Prädiktionsfehler des Signals größer als eine Schwelle

$\alpha_m/\alpha_{d1} \geq \text{Schwelle} \rightarrow \text{ASK}$,

wird auf ASK (Morse) geschlossen.

g) Das Verhältnis des Prädiktionsfehlers des komplexen Quadrats des Signals zum Prädiktionsfehler des Signals ergibt eine Schwellenentscheidung zwischen Harmonischen Signalen, FSK und MSK gegen PSK

$\alpha_s/\alpha_d \geq \text{Schwelle} \rightarrow \text{FSK, Sinus, MSK}$.

h) Ein Verhältnis des Prädiktionsfehlers des komplexen quadrierten Signals zu dem Prädiktionsfehler der vierten Potenz des komplexen Basisbandsignals unterscheidet zwischen PSK2 und PSK4

$\alpha_f/\alpha_s \geq \text{Schwelle} \rightarrow \text{PSK2}$.

Die Klassen werden dann aus den Merkmalen e) – h) mittels Schwellen gebildet.

Gemäß einer linearen Bewertungsfunktion wird dann die Rangordnung innerhalb einer Klasse errechnet. Hochrangige Signale werden bevorzugt abgearbeitet. Hier können speziell Signale mit hoher oder niedriger Energie, Bandbreite etc. ausgewählt werden.

Die Rangordnung der Signale soll eine gewisse Vorauswahl treffen, falls z. B. nicht alle Signale gleichzeitig untersucht werden können.

Liegt eine PSK2- oder PSK4-Modulation vor, ist die genaue Schätzung der Parameter Trägerfrequenz, -phase, Baudrate und -phase für einen guten Startpunkt der PSK-Demodulation von großem Vorteil (vgl. Fig. 2).

Zur zusätzlichen Schätzung von Trägerfrequenz und -phase bei Vorliegen einer PSK2- oder PSK4-Modulation wird in einer Weiterbildung der Erfindung in einer zusätzlichen Einrichtung (TR in Fig. 2) das komplexe Basisbandsignal x zusätzlich in das oder die Zwischensignale x^2 und/oder x^4 transformiert. Diese zusätzlichen Zwischensignale werden anschließend einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells höherer Ordnung, vorzugsweise sechster Ordnung, unterworfen. Danach werden die geschätzte Trägerfrequenz aus dem Phasenwinkel der betragsmäßig größten Polstelle dieses autoregressiven Modells abgeleitet und die Phase der geschätzten Trägerfrequenz durch die Berechnung der Linie einer diskreten Fourier Transformation (DFT) an der Stelle der geschätzten Trägerfrequenz ermittelt.

Zur Baudratenbestimmung wird das komplexe Basisbandsignal x schmaler als von der Segmentierung geschätzt gefiltert bzw. bei Zusammenfassung nach einer Fast Fourier Transformation (FFT) werden die Randkanäle des Signals nicht berücksichtigt. Das Betragsquadrat des Signals sollte die Baudrate beinhalten, die über ein autoregressives Modell höherer Ordnung, vorzugsweise zwölfter Ordnung, geschätzt werden kann.

Die reelle Autokovarianz des Signals wird bis zur Ordnung des autoregressiven Modells pro Datenblock bestimmt und das autoregressive Modell berechnet.

Zur zusätzlichen Schätzung von Baudrate und -phase bei Vorliegen einer PSK2- oder PSK4-Modulation wird daher in einer anderen Weiterbildung der Erfindung das komplexe Basisbandsignal x zunächst einer die Spektrumsbreite des Signals begrenzenden Filterung unterworfen und anschließend in das weitere Zwischensignal $|x|^2$ transformiert. Anschließend wird dieses weitere Zwischensignal einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells höherer Ordnung, vorzugsweise zwölfter Ordnung, unterworfen und die geschätzte Baudrate aus dem Phasenwinkel der betragsmäßig größten Polstelle dieses autoregressiven Modells entnommen. Danach wird die Phase der geschätzten Baudrate durch die Berechnung der Linie einer diskreten Fourier Transformation (DFT) an der Stelle der geschätzten Baudrate ermittelt.

Der besondere Vorteil dieser beiden Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bestehen darin, daß eine einfache Berechnung bzw. eine nichtkooperative Aufklärung der Trägerfrequenz und -phase bzw. Baudrate und -phase möglich ist.

In Fig. 5 ist eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung (ME in Fig. 1 oder 2) zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt.

Das zu untersuchende komplexe Basisbandsignal x liegt an einer Eingangsklemme 8. Die Eingangsklemme 8 ist einerseits direkt mit dem Eingang eines linearen Prädiktors erster Ordnung 20 und mit dem Eingang eines

linearen Prädiktors zweiter Ordnung 21 verbunden und andererseits mit den Eingängen dreier nichtlinearer Signaltransformatoren 10 (x^2), 11 (x^4) und 12 ($|x|^2$) verbunden, die ihrerseits ausgangsseitig jeweils mit einem linearen Prädiktor dritter Ordnung 22–24 verbunden sind. Der Signaltransformator 12 ($|x|^2$) ist außerdem mit einem weiteren Signaltransformator 13 ($m_{|x|^2}$) und mit dem "+"-Eingang 141 eines Differenzgliedes 14 verbunden, dessen "-"-Eingang 142 mit dem Ausgang des Signaltransformators 13 ($m_{|x|^2}$) verbunden ist. Der Ausgang 140 des Differenzgliedes 14 ist seinerseits zum einen mit einem vierten linearen Prädiktor dritter Ordnung 25 sowie über einen weiteren Signaltransformator 15 (x^2) mit einem fünften linearen Prädiktor dritter Ordnung 26 verbunden. Die sieben linearen Prädiktoren 20–27 bilden die Einheit 2 der autoregressiven Modelle und sind ihrerseits ausgangsseitig mit der Auswerteschaltung 3 verbunden.

Die Prädiktoren liefern je nach ihrer Ordnung und je nach Art ihres Eingangssignals die (vorzugsweise normierten) Prädiktionsfehler α_{d1} , α_{d2} , α_s , α_f , α_c , α_m und α_t (vgl. auch Fig. 3 und 4). Der Ausgang der Auswerteschaltung 3 ist mit der Ausgangsklemme 9 verbunden, an der das Steuersignal S (z. B. für den Demodulator DM in Fig. 1 oder 2) abgegriffen werden kann.

Diese Anordnung arbeitet parallel, d. h. das komplexe Basisbandsignal x wird zum Zeitpunkt t_k praktisch gleichzeitig entweder über die Signaltransformatoren 10–15 in Form der durch die Transformationen erzeugten Zwischensignale oder selbst direkt den einzelnen linearen Prädiktoren 20–26 zugeführt und dort einer Parameterschätzung unterworfen. Die daraus gewonnenen Prädiktionsfehler α_{d1} , α_{d2} , α_s , α_f , α_c , α_m , α_t werden der Auswerteschaltung 3 zugeführt, die z. B. nach der in Fig. 4 gezeigten Art der Verhältnisbildung bzw. des Vielfachvergleichs mit Schwellenwerten anhand dieser Werte die vorliegende Modulationsart bestimmt und ein entsprechendes Steuersignal S an die Ausgangsklemme 9 abgibt.

Anschließend kann das nächste komplexe Basisbandsignal zum Zeitpunkt t_{k+1} in der gleichen Weise bearbeitet werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Ausführungsform besteht wegen der Parallelität der Arbeitsvorgänge in der Schnelligkeit der Durchführung.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann aber auch die in Fig. 6 gezeigte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Modulationsartenkenners (ME in Fig. 1 oder 2) verwendet werden.

Bei dieser Ausführungsform werden die einzelnen Arbeitsvorgänge nicht parallel (also praktisch zeitgleich), sondern seriell (d. h. zeitlich hintereinander) ausgeführt.

Die Anordnung besteht aus einem in seinem Transformationsverhalten einstellbaren Signaltransformator 1, der mit einem in seiner Ordnung einstellbaren linearen Prädiktor 2 verbunden ist. Der lineare Prädiktor 2 ist über eine erste Schalteinrichtung 61 und über eine nachgeschaltete erste Speichereinheit 5 mit Speicherplätzen 51–57 für die Prädiktionsfehler α_{d1} , α_{d2} , α_s , α_f , α_c , α_m und α_t mit der Auswerteschaltung 3 verbunden.

Die Auswerteschaltung 3 ist ausgangsseitig mit der Ausgangsklemme 9 der Anordnung verbunden.

Die Eingangsklemme 8 für das komplexe Basisbandsignal x ist über eine zweite Speichereinheit 4 und eine zweite Schalteinrichtung 62 entweder über eine Umwegleitung 63 direkt oder über den Signaltransformator 1 mit dem linearen Prädiktor 2 verbunden. Erste und zweite Speichereinheit 5 und 4, erste und zweite Schalteinrichtung 61 und 62 sowie der Signaltransformator 1, der lineare Prädiktor 2 und die Auswerteschaltung 3 werden über eine gemeinsame Steuerung 7 angesteuert.

Die in der Anordnung gemäß Fig. 5 parallel ablaufenden Arbeitsvorgängen werden hier zeitlich nacheinander durchgeführt. Hierzu wird zunächst das komplexe Basisbandsignal x zum Zeitpunkt t_k im zweiten Speicher 4 abgespeichert.

Zur Bestimmung des Prädiktionsfehlers α_{d1} beispielsweise wird mittels der Steuerung 7 der zweite Speicher 4 über die zweite Schalteinrichtung 62 und die Umwegleitung 63 direkt mit dem linearen Prädiktor 2 verbunden, der mittels der Steuerung 7 auf die erste Ordnung eingestellt worden ist. Das Ergebnis der Parameterschätzung (α_{d1}) wird mittels der Steuereinrichtung 7 über die erste Schalteinrichtung 61 beispielsweise im Speicherplatz 51 der ersten Speichereinheit 5 abgespeichert.

Anschließend wird z. B. der Prädiktionsfehler α_{d2} bestimmt, indem mittels der Steuerung 7 der lineare Prädiktor 2 auf die zweite Ordnung eingestellt wird und das Ergebnis der Parameterschätzung (α_{d2}) über die erste Schalteinrichtung 61 beispielsweise im Speicherplatz 52 der ersten Speichereinheit 5 abgespeichert wird.

Daraufhin werden beispielsweise die Prädiktionsfehler α_s , α_f , α_c , α_m und α_t bestimmt, indem der zweite Speicher 4 über die zweite Schalteinrichtung 62 mit dem Signaltransformator 1 verbunden wird, der nacheinander als Zwischensignale x^2 , x^4 , $|x|^2$, $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ und $(|x|^2 - m_{|x|^2})^2$ erzeugt, die im linearen Prädiktor 2, der auf die dritte Ordnung eingestellt worden ist, einer Parameterschätzung unterworfen werden, deren Ergebnis α_s , α_f , α_c , α_m bzw. α_t über die erste Schalteinrichtung 61 in den entsprechenden Speicherplätzen 53–57 der ersten Speichereinheit 5 abgespeichert werden.

Anschließend können die so gewonnenen α -Werte in die Auswerteschaltung 3 gegeben werden und dort in der bereits geschilderten Weise die Modulationsart anhand dieser Werte bestimmt werden.

Natürlich kann die zeitliche Reihenfolge der Bestimmung der einzelnen α -Werte von der oben geschilderten Reihenfolge abweichen oder auch nur zum Teil durchgeführt werden: also statt der Reihenfolge α_{d1} , α_{d2} , α_s , α_f , α_c , α_m , α_t sind z. B. auch die Reihenfolgen α_s , α_{d1} , α_f , α_c , α_t , α_{d2} , α_m oder α_{d1} , α_f , α_c oder α_t , α_m , α_s , α_f , α_{d2} usw. möglich.

Anschließend kann das nächste komplexe Basisbandsignal x zum Zeitpunkt t_{k+1} in der gleichen Art und Weise verarbeitet werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß sie relativ wenig aufwendig ist, da im Prinzip unter anderem nur ein Signaltransformator (anstelle von mehreren) und ein linearer Prädiktor (anstelle von mehreren) benötigt werden.

In Fig. 5 kann vorteilhafterweise die erste Schalteinrichtung 61 in Form eines Demultiplexers realisiert werden und die zweite Schalteinrichtung 62 in Form eines Multiplexers.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Modulationsartenerkennung, bei welchem ein nach einer bestimmten, anfangs noch unbekannten Modulationsart moduliertes komplexes Basisbandsignal x in mehrere voneinander unabhängige Zwischensignale transformiert wird, welche Zwischensignale die Grundlage für die Bestimmung der Modulationsart in einer Auswerteschaltung bilden, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Zwischensignale und/oder das komplexe Basisbandsignal x selbst jeweils einer Parameterschätzung mindestens eines autoregressiven Modells unterworfen werden und daß aus den geschätzten Parametern und/oder aus von diesen Parametern abgeleiteten Prädiktionsfehlern $\hat{\alpha}$ durch Vergleich mindestens einiger dieser Parameter oder Prädiktionsfehler $\hat{\alpha}$ untereinander und/oder mit vorgegebenen Schwellenwerten die Modulationsart bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Zwischensignale jeweils durch eine lineare oder nichtlineare Transformation aus dem komplexen Basisbandsignal x erzeugt werden und daß vorzugsweise die Mehrzahl der Transformationen nichtlineare Transformationen von vorzugsweise niedriger Ordnung, vorzugsweise von erster, zweiter, dritter oder vierter Ordnung sind.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Transformationen zeitlich hintereinander und/oder vorzugsweise zeitlich parallel durchgeführt werden.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die einzelnen Zwischensignale und/oder das komplexe Basisbandsignal x selbst autoregressive Modelle unterschiedlicher Ordnung, vorzugsweise niedriger Ordnung, vorzugsweise erster, zweiter oder dritter Ordnung verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die verwendeten autoregressiven Modelle auf der Basis von Levinson- oder Schur-Algorithmen arbeiten.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Prädiktionsfehler $\hat{\alpha}$ auf Werte $0 \leq \hat{\alpha} \leq 1$ normiert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Erkennung von digitalen Modulationsarten, insbesondere von ASK2, FSK2, MSK2, PSK2 und PSK4, und/oder von harmonischen Signalen, dadurch gekennzeichnet, daß das komplexe Basisbandsignal x direkt der Parameterschätzung eines autoregressiven Modells erster Ordnung und/oder zweiter Ordnung unterworfen wird und/oder zunächst in die Zwischensignale x^2 und/oder x^4 und/oder $|x|^2$ und/oder $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ und/oder $(|x|^2 - m_{|x|^2})^2$ transformiert wird und diese Zwischensignale jeweils einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells dritter Ordnung unterworfen werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den einzelnen Parameterschätzungen abgeleiteten und vorzugsweise normierten Prädiktionsfehler $\alpha_{d1}, \alpha_{d2}, \alpha_s, \alpha_f, \alpha_c, \alpha_m, \alpha_t$ in der Auswerteschaltung zumindest zum Teil untereinander jeweils paarweise ins Verhältnis gesetzt werden und diese einzelnen Verhältnisse

$$\alpha_y/\alpha_z \quad (y, z \in \{d1, d2, s, f, c, m, t\}; y \neq z)$$

mit vorgegebenen Schwellenwerten S_{yz} einzeln verglichen werden und daß durch Vielfachvergleich der sich aus diesen Einzelvergleichen ergebenden Differenzen $[(\alpha_y/\alpha_z) - S_{yz}]$ die vorliegende Modulationsart bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8 zur zusätzlichen Schätzung von Trägerfrequenz und -phase bei Vorliegen einer PSK2- oder PSK4-Modulation, dadurch gekennzeichnet, daß das komplexe Basisbandsignal x zusätzlich in das oder die Zwischensignale x^2 und/oder x^4 transformiert wird und diese zusätzlichen Zwischensignale einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells höherer Ordnung, vorzugsweise sechster Ordnung, unterworfen werden und die geschätzte Trägerfrequenz aus dem Phasenwinkel der betragsmäßig größten Polstelle dieses autoregressiven Modells abgeleitet wird und daß die Phase der geschätzten Trägerfrequenz durch die Berechnung der Linie einer diskreten Fourier Transformation an der Stelle der geschätzten Trägerfrequenz ermittelt wird.

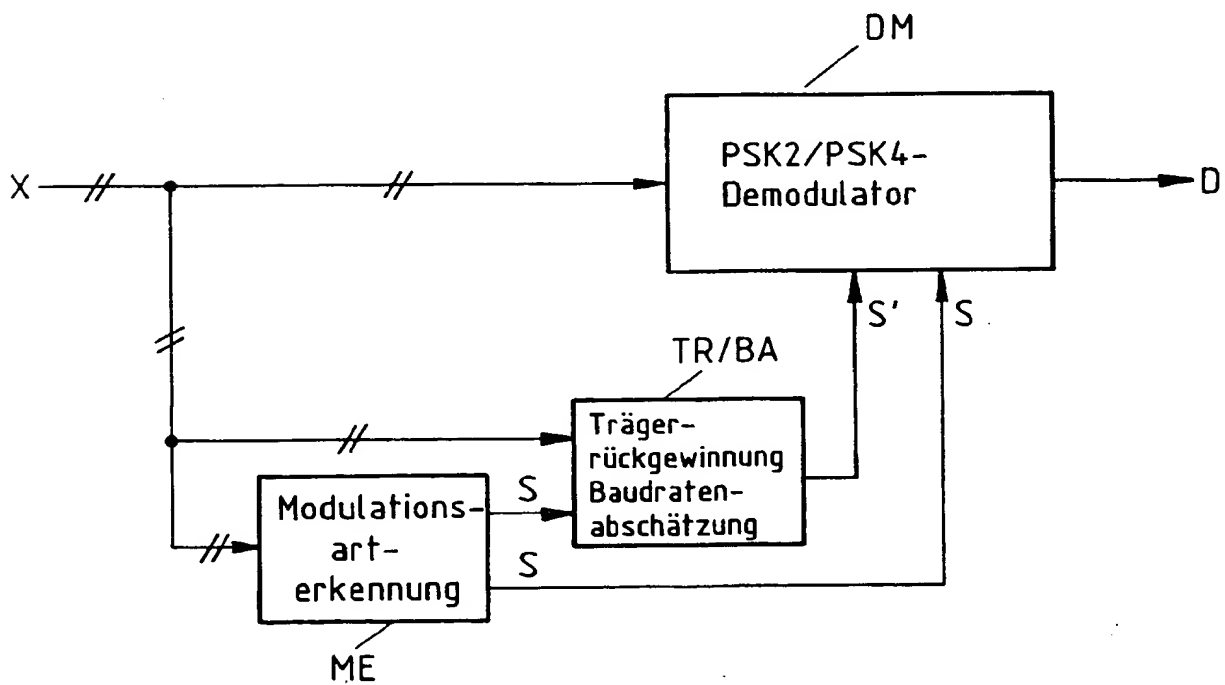
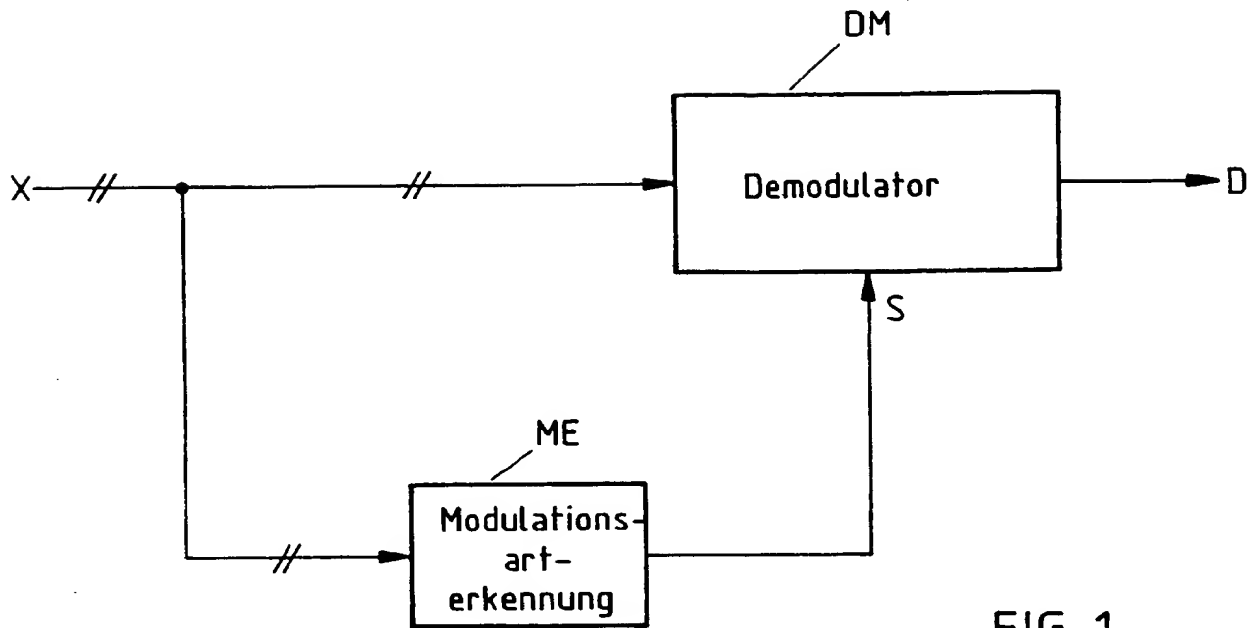
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9 zur zusätzlichen Schätzung von Baudrate und -phase bei Vorliegen einer PSK2- oder PSK4-Modulation, dadurch gekennzeichnet, daß das komplexe Basisbandsignal x zunächst einer die Spektrumsbreite des Signals begrenzenden Filterung unterworfen wird und anschließend in das weitere Zwischensignal $|x|^2$ transformiert wird, daß dieses weitere Zwischensignal einer Parameterschätzung eines autoregressiven Modells höherer Ordnung, vorzugsweise zwölfter Ordnung, unterworfen wird und die geschätzte Baudrate aus dem Phasenwinkel der betragsmäßig größten Polstelle dieses autoregressiven Modells entnommen wird und daß die Phase der geschätzten Baudrate durch die Berechnung der Linie einer diskreten Fourier Transformation an der Stelle der geschätzten Baudrate ermittelt wird.

11. Anordnung zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Signaltransformator (1; 10–15) zur Transformation des komplexen Basisbandsignals x vorgesehen ist,
 – daß mindestens ein linearer Prädiktor (2; 20–26) zur Durchführung der Parameterschätzung des mindestens einen autoregressiven Modells an den einzelnen Zwischensignalen und/oder dem komplexen Basisbandsignal x selbst vorgesehen ist;
 – daß die Auswerteschaltung (3) zur Bestimmung der Modulationsart dem mindestens einen linearen Prädiktor (2; 20–26) nach- und der mindestens eine Signaltransformator (1; 10–15) diesem vorgeschaltet ist.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, 5
- daß N lineare Prädiktoren (20 – 26) und (N – M) Signaltransformatoren (10 – 15) mit $0 \leq M \leq N$ und $N > 1$ vorgesehen sind;
 - daß die N linearen Prädiktoren (20 – 26) ausgangsseitig jeweils direkt mit der Auswerteschaltung (3) verbunden sind;
 - daß M der N linearen Prädiktoren (20, 21) eingangsseitig jeweils direkt und die übrigen (N – M) der N linearen Prädiktoren (22 – 26) eingangsseitig jeweils über einen der (N – M) Signaltransformatoren (10 – 15) mit der Eingangsklemme (8) für das komplexe Basisbandsignal x verbunden sind.
13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, 10
- daß ein linearer Prädiktor erster Ordnung (20) und ein linearer Prädiktor zweiter Ordnung (21) eingangsseitig jeweils direkt mit der Eingangsklemme (8) für das komplexe Basisbandsignal x verbunden sind;
 - daß ein erster linearer Prädiktor dritter Ordnung (22) eingangsseitig über einen x^2 -Signaltransformator (10), ein zweiter linearer Prädiktor dritter Ordnung (23) eingangsseitig über einen x^4 -Signaltransformator (11), ein dritter linearer Prädiktor dritter Ordnung (24) eingangsseitig über einen $|x|^2$ -Signaltransformator (12), ein vierter linearer Prädiktor (25) eingangsseitig über einen $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ -Signaltransformator (12 – 14) und ein fünfter linearer Prädiktor dritter Ordnung (26) eingangsseitig über einen $(|x| - m_{|x|^2})^2$ -Signaltransformator (12 – 15) mit der Eingangsklemme (8) für das komplexe Basisbandsignal x verbunden sind. 15
14. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, 20
- daß der $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ -Signaltransformator (12 – 14) aus dem $|x|^2$ -Signaltransformator (12), einem $m_{|x|^2}$ -Signaltransformator (13) und einem Differenzglied (14) gebildet ist;
 - daß das Differenzglied (14) mit seinem Ausgang (140) an den vierten linearen Prädiktor dritter Ordnung (25) und mit seinem "+"-Eingang (141) an dem Ausgang des x^2 -Signaltransformators (12) sowie mit seinem "-"-Eingang (142) an dem Ausgang des $m_{|x|^2}$ -Signaltransformators (13) angeschlossen ist; 25
 - daß der Eingang des $m_{|x|^2}$ -Signaltransformators (13) mit dem Ausgang des $|x|^2$ -Signaltransformators (12) verbunden ist.
15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, 30
- daß der $(|x|^2 - m_{|x|^2})^2$ -Signaltransformator (12 – 15) einen zusätzlichen x^2 -Signaltransformator (15) enthält
 - daß der zusätzliche x^2 -Signaltransformator (15) ausgangsseitig an den fünften linearen Prädiktor dritter Ordnung (26) und eingangsseitig an den Ausgang (140) des Differenzgliedes (14) des $(|x|^2 - m_{|x|^2})$ -Signaltransformators (12 – 14) angeschlossen ist.
16. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, 35
- daß ein Signaltransformator (1) und ein linearer Prädiktor (2) vorgesehen sind;
 - daß das Transformationsverhalten des Signaltransformators (1) und die Ordnung des linearen Prädiktors (2) einstellbar sind;
 - daß der Ausgang des linearen Prädiktors über eine erste Schaltvorrichtung (61) und eine erste Speichereinheit (5; 51 – 57) mit der Auswerteschaltung (3) verbunden ist;
 - daß die Eingangsklemme (8) für das komplexe Basisbandsignal x über eine zweite Speichereinheit (4) und eine zweite Schalteinrichtung (62) wahlweise mit dem Eingang des Signaltransformators (1) oder über eine Umgehungsleitung (63) direkt mit dem Eingang des linearen Prädiktors (2) verbindbar ist;
 - daß der Signaltransformator (1), der lineare Prädiktor (2), die Auswerteschaltung (3), die erste und zweite Speichereinheit (4, 5) und die erste und zweite Schalteinrichtung (61, 62) durch eine gemeinsame Steuerung (7) angesteuert sind. 40
17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schalteinrichtung (61) in Form eines Demultiplexers realisiert ist und die zweite Schalteinrichtung (62) in Form eines Multiplexers. 45

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —



Nichtlinearität	x 01	x 02	x ²	x ⁴	x ²	(x ² - m x ²)	(x ² - m x ²) ²
Prädikationsfehler α_n	α_{d1}	α_{d2}	α_s	α_f	α_c	α_m	α_t
Sinus	D	D	D	D	D	N	N
ASK2	N	N	N	N	N	N	D
FSK2	N	D	N	N	D	N	N
MSK2	N	N	N	N	D	N	N
PSK2	N	N	D	D	D	N	N
PSK4	N	N	N	D	D	N	N
NOISE	N	N	N	N	N	N	N

FIG. 3

	Sinus	ASK2	FSK2	MSK2	PSK2	PSK4	Noise
Sinus		α_c/α_t	α_{d1}/α_c	α_{d2}/α_m	α_{d2}/α_m	α_{d2}/α_m	α_{d2}/α_m
ASK2	α_t/α_c		α_{d1}/α_c	α_s/α_c	α_{d2}/α_c	α_{d2}/α_c	α_{d2}/α_c
FSK2	α_c/α_{d1}	α_c/α_{d1}		α_c/α_{d1}	α_c/α_s	α_c/α_m	α_c/α_{d1}
MSK2	α_m/α_{d2}	α_c/α_s	α_{d1}/α_c		α_{d2}/α_s	α_{d2}/α_f	α_c/α_m
PSK2	α_m/α_{d2}	α_c/α_{d2}	α_s/α_c	α_s/α_{d2}		α_s/α_f	α_s/α_{d2}
PSK4	α_m/α_{d2}	α_c/α_{d2}	α_m/α_c	α_f/α_{d2}	α_f/α_s		α_f/α_{d2}
NOISE	α_m/α_{d2}	α_c/α_{d2}	α_{d1}/α_c	α_m/α_c	α_{d2}/α_s	α_{d2}/α_f	

FIG. 4

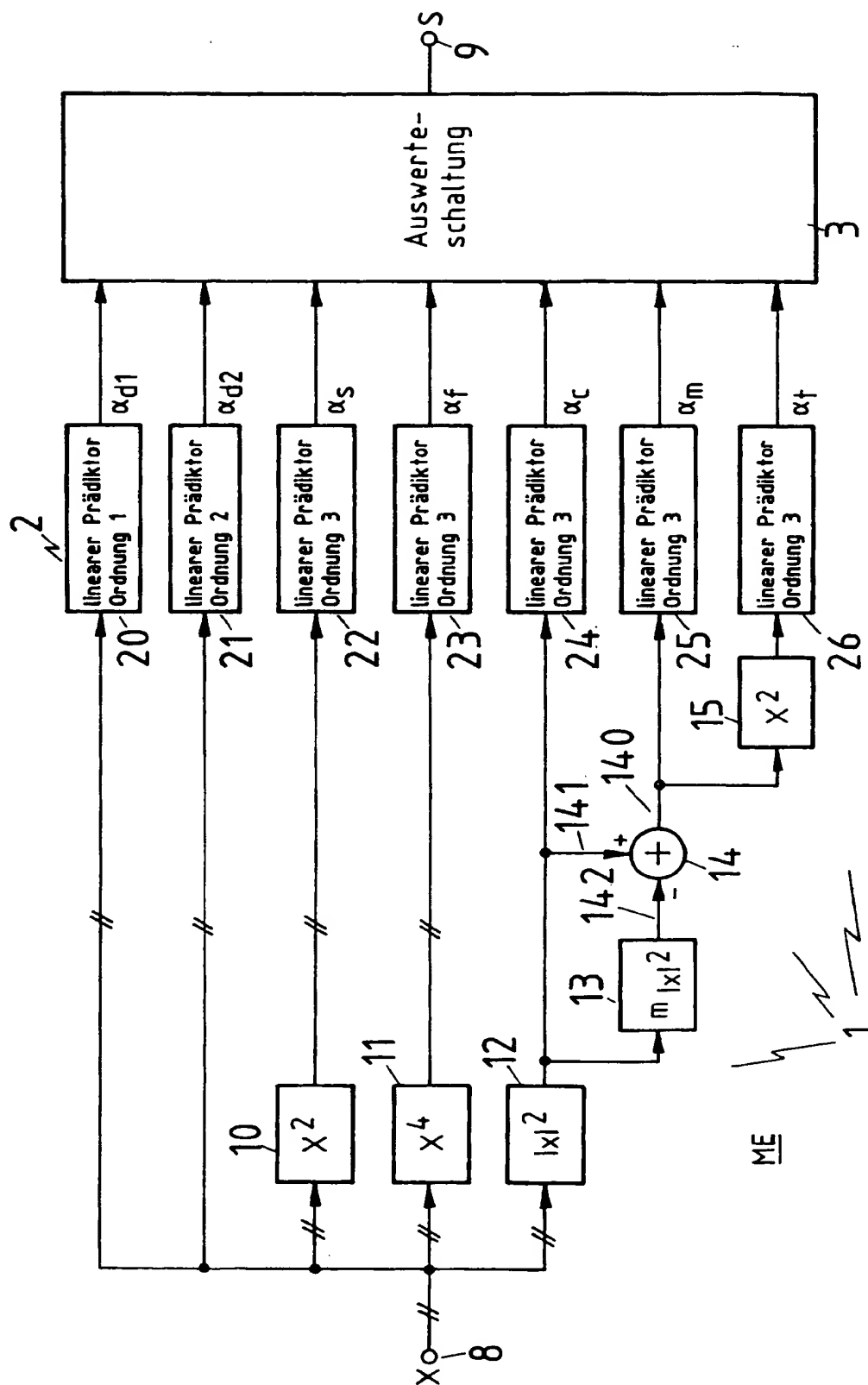


FIG. 5

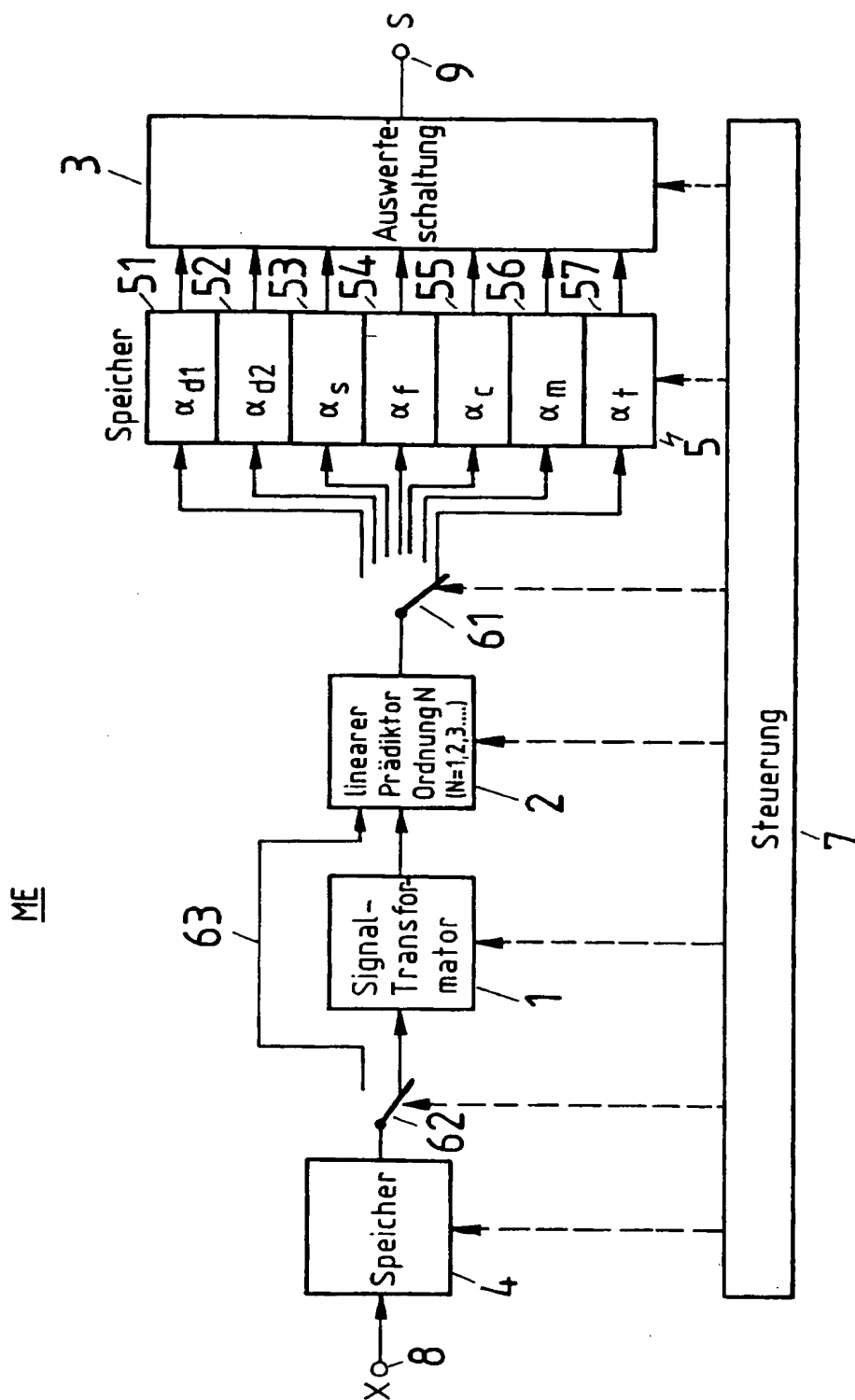


FIG. 6